



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁶ : G06T 5/00		A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 95/22806
			(43) Date de publication internationale: 24 août 1995 (24.08.95)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/IB95/00076 (22) Date de dépôt international: 3 février 1995 (03.02.95) (30) Données relatives à la priorité: 94/01769 16 février 1994 (16.02.94) FR 94/14726 7 décembre 1994 (07.12.94) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): PHILIPS ELECTRONICS N.V. [NL/NL]; Groenewoudseweg 1, NL-5621 BA Eindhoven (NL). (71) Déposant (SE seulement): PHILIPS NORDEN AB [SE/SE]; Kottbygatan 5, Kista, S-164 85 Stockholm (SE). (71) Déposant (FR seulement): LABORATOIRES D'ELECTRONIQUE PHILIPS [FR/FR]; 22, avenue Descartes, F-94450 Limeil-Brevannes (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): FASSNACHT, Carola [DE/FR]; 156, boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR). DEVIJVER, Pierre [BE/FR]; 156, boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR).		(74) Mandataire: KOOIMAN, Josephus, Johannes, Antonius; Internationaal Octrooibureau B.V., P.O. Box 220, NL-5600 AE Eindhoven (NL). (81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée Avec rapport de recherche internationale.	

(54) Title: DEVICE FOR THE SEGMENTATION OF A DISCRETE SET OF DATA

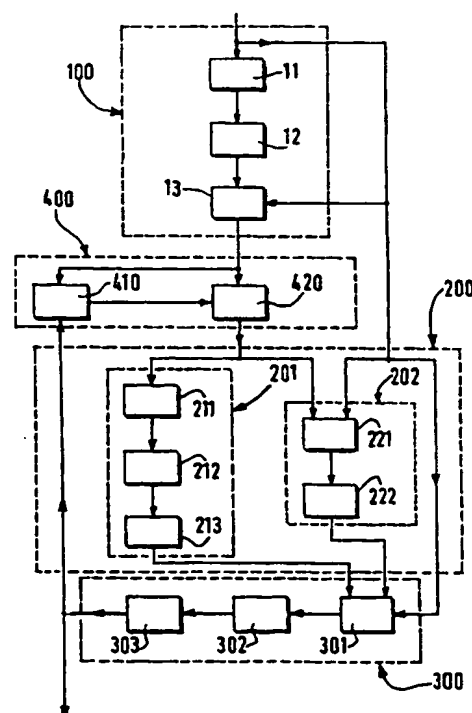
(54) Titre: DISPOSITIF DE SEGMENTATION D'UN ENSEMBLE DISCRET DE DONNEES

(57) Abstract

Device for the segmentation of data corresponding, for example, to image sites, for the low rate transmission or storage of said images. The device comprises, firstly, an initial segmentation categorizing subunit which issues an initial set of labels. A subunit (200) then determines, according to two parallel means (201, 202), conditional probabilities, based, in particular, on a propagation operator L, whose parameters are defined by given relationships. The probabilities are used in a labelling subunit (300) which provides a new set of labels. Finally, a sequencing subunit (400) controls, at the input of said subunit (300), the replacement of the initial set of labels with the new set and whether the iterative procedure for determination of new labels should be continued or discontinued.

(57) Abrégé

Dispositif de segmentation de données correspondant par exemple à des sites d'image, pour la transmission et/ou le stockage à faible débit de ces images. Ce dispositif comprend tout d'abord un sous-ensemble de segmentation initiale en classes délivrant un jeu de labels initial. Un sous-ensemble (200) opère alors, dans deux voies en parallèle (201, 202), des déterminations de probabilités conditionnelles, notamment à partir d'un opérateur de propagation L dont les paramètres sont définis par des relations spécifiques. Ces probabilités sont utilisées dans un sous-ensemble d'étiquetage (300) qui délivre un nouveau jeu de labels. Enfin, un sous-ensemble (400) de séquençage détermine à l'entrée du sous-ensemble (200) le remplacement du jeu de labels initial par le nouveau jeu et la poursuite ou au contraire l'arrêt de ce processus itératif de détermination de nouveaux labels.



UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	GB	Royaume-Uni	MR	Mauritanie
AU	Australie	GE	Géorgie	MW	Malawi
BB	Barbade	GN	Guinée	NE	Niger
BE	Belgique	GR	Grèce	NL	Pays-Bas
BF	Burkina Faso	HU	Hongrie	NO	Norvège
BG	Bulgarie	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BJ	Bénin	IT	Italie	PL	Pologne
BR	Brésil	JP	Japon	PT	Portugal
BY	Bélarus	KE	Kenya	RO	Roumanie
CA	Canada	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CF	République centrafricaine	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CG	Congo	KR	République de Corée	SE	Suède
CH	Suisse	KZ	Kazakhstan	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slovaquie
CM	Cameroun	LK	Sri Lanka	SN	Sénégal
CN	Chine	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CS	Tchécoslovaquie	LV	Lettonie	TG	Togo
CZ	République tchèque	MC	Monaco	TJ	Tadjikistan
DE	Allemagne	MD	République de Moldova	TT	Trinité-et-Tobago
DK	Danemark	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Espagne	ML	Mali	US	Etats-Unis d'Amérique
FI	Finlande	MN	Mongolie	UZ	Ouzbékistan
FR	France			VN	Viet Nam
GA	Gabon				

"DISPOSITIF DE SEGMENTATION D'UN ENSEMBLE DISCRET DE DONNEES"

Description

La présente invention concerne un dispositif de segmentation d'un ensemble discret de données correspondant à des sites (m,n) avec m compris entre 1 et M inclus et n entre 1 et N inclus, à partir de signaux numériques d'entrée
5 correspondant auxdites données. Cette invention trouve des applications en particulier dans le domaine de la segmentation d'images, pour réaliser par exemple des transmissions de type vidéophonique, ou pour des traitements tels que celui d'images fournies par des satellites ou celui d'images obtenues dans le
10 domaine médical ou en vision robotique, et concerne alors toutes sortes d'images, classiques ou bien à indication de distance (entre le capteur de prise de vue et l'objet de la scène le plus proche), et aussi bien des images à distribution de niveaux de gris que des images texturées ou des images associant plusieurs types de structure d'image.
15

Tout procédé de segmentation d'image a pour objet une classification, c'est-à-dire un regroupement des éléments d'image (ou pixels) en leur affectant une étiquette commune (ou label) par région issue de la segmentation. Une telle opération
20 revient en quelque sorte à construire à partir de données observables une modélisation facilitant des traitements ultérieurs. Cependant, plutôt que de construire un modèle déterministe, on préfère chercher alors à évaluer des probabilités attachées aux situations qui sont le reflet de ces
25 données observables, avec une vraisemblance qui est la marque du degré de confiance en cette interprétation particulière. Dans l'établissement d'un tel modèle non déterministe, on ne peut pas exclure que, dans la classification recherchée, chaque pixel soit influencé par la classe d'appartenance de ses
30 voisins. A partir de cette hypothèse, on a songé alors à considérer l'ensemble des pixels d'une image comme un champ de Markov (c'est-à-dire comme la généralisation d'une chaîne de Markov).

La communication "Segmentation of textured images using a multiresolution approach", effectuée par C. Bouman et B. Liu lors de la "1988 International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing" (tenue à New-York, USA, du 11 au 14
5 avril 1988) et publiée dans les "Compte-Rendus" de cette conférence, volume n°2, pp.1124-1127, présente une méthode de segmentation d'images qui repose sur une estimation approchée du maximum a posteriori d'un champ de Markov aléatoire, à partir de l'hypothèse qu'une distribution a priori des labels
10 affectés aux pixels est donnée par une distribution de Gibbs. Cette méthode procède par des segmentations de plus en plus précises, le processus de segmentation avec résolution d'image croissante étant interrompu lorsque chaque pixel a pu être affecté à une classe.

15 Le but de l'invention est de proposer un dispositif de segmentation de données, et notamment de signaux numériques correspondant à des images, qui met en oeuvre une méthode de segmentation faisant également appel à une modélisation par un champ de Markov, mais reposant sur une approche différente et
20 conduisant à un résultat optimal en très peu d'itérations.

A cet effet, l'invention concerne un dispositif de segmentation plus particulièrement caractérisé en ce qu'il comprend en série :

(A) un sous-ensemble de segmentation initiale par
25 extraction d'histogramme, calcul de moyennes sur T classes, et classification par recherche de celle des moyennes qui est la plus proche du signal calculé ;

(B) un sous-ensemble de détermination et mise à jour de probabilités, recevant d'une part lesdits labels et d'autre
30 part lesdits signaux numériques d'entrée et comprenant lui-même :

(1) en sortie dudit sous-ensemble de segmentation initiale, une première voie de détermination de probabilités conditionnelles $p(q/a,b,c)$, comprenant elle-même en série :

35 (a) un circuit de détermination de

probabilités dites de configuration traduisant l'identité ou la non-identité des niveaux correspondant à chacune des quinze configurations possibles à l'intérieur d'un modèle bidimensionnel en carré (q,a,b,c) de chaîne de Markov, q étant appelé dans ledit ensemble à segmenter le label à déterminer au site dit "enfant" et a,b,c les labels des sites dits "parents" ;

(b) un circuit de calcul de coefficients de propagation pour le modèle de chaîne de Markov ainsi choisi ;

(c) un premier circuit de détermination de la probabilité conditionnelle $p(a/abc) = \exp L(q/abc)/Z(abc)$, où Z est un facteur de normalisation et où $L(q/abc)$ est un opérateur dit de propagation de l'influence des parents aux enfants, défini par les expressions (3) à (14) :

$$L(q/abc) = B(v). d(qa) + B(d). d(qb). + B(h). d(qc) \\ + B(v,d). d(qab) + B(d,h). d(qbc) \\ + B(v,h). d(qac) + B(v,d,h). d(qabc) \quad (3)$$

$$\exp B(v) = k.S(1123) \quad (4)$$

$$\exp B(d) = k.S(1213) \quad (5)$$

$$\exp B(h) = k.S(1231) \quad (6)$$

$$\exp B(v,d) = c(v,d).(\exp B(h) + T-2). \exp (B(v) + B(d)) \quad (7)$$

$$\exp B(v,h) = c(v,h).(\exp B(d) + T-2). \exp (B(v) + B(h)) \quad (8)$$

$$\exp B(d,h) = c(d,h).(\exp B(v) + T-2). \exp (B(d) + B(h)) \quad (9)$$

$$\exp B(v,d,h) = \frac{(T-1).S(1111)/S(1222)}{\exp (B(v) + B(d) + B(h) + B(v,d) + B(v,h) + B(d,h))} \quad (10)$$

$$c(v,d) = S(1112)/(S(1221) + S(1223)) \quad (11)$$

$$c(v,h) = S(1121)/(S(1212) + S(1232)) \quad (12)$$

$$c(d,h) = S(1211)/(S(1122) + S(1233)) \quad (13)$$

$$k = (T-3)/S(1234) ; \quad (14)$$

(2) également en sortie du sous-ensemble de segmentation initiale, et en parallèle sur la première voie, une deuxième voie de détermination de probabilités conditionnelles $p_n(x_m)$, comprenant elle-même en série :

(a) un circuit de calcul de paramètres

"moyenne" et de paramètres "variance" desdites T classes ;

(b) un deuxième circuit de détermination de probabilités conditionnelles ;

5 (C) en sortie dudit sous-ensemble de détermination et mise à jour de probabilités, un sous-ensemble d'étiquetage des points dudit ensemble de données, recevant sur des première et deuxième entrées les signaux de sortie desdites première et deuxième voies et sur une troisième entrée lesdits signaux numériques d'entrée du dispositif, ledit circuit étant prévu
10 pour délivrer un nouveau jeu de labels qui constitue la mise à jour de ladite segmentation initiale ;

(D) entre les deux sous-ensembles de segmentation initiale et de détermination et mise à jour de probabilités, un sous-ensemble de séquençement, recevant sur des première et
15 deuxième entrées respectivement le jeu de labels initial obtenu au terme de ladite segmentation initiale et le jeu de labels résultant de la mise à jour et comprenant en série :

(1) un circuit de comparaison desdits jeux de labels ;

20 (2) selon le résultat de ladite comparaison, un circuit d'arrêt du processus de segmentation ou, au contraire, pour une nouvelle mise à jour, de substitution dudit jeu de labels mis à jour audit jeu de labels initial, ledit jeu de labels mis à jour étant envoyé vers l'entrée desdites première
25 et deuxième voies.

Dans un mode particulier de réalisation, ledit ensemble discret comprend des données unimodales et le sous-ensemble de segmentation initiale, recevant lesdits signaux d'entrée, comprend en série :

30 (1) un circuit d'extraction de l'histogramme des niveaux de grandeur exprimés par ces signaux d'entrée et qui correspondent respectivement à chaque point dudit ensemble ;

(2) un circuit de calcul, à partir dudit histogramme, de moyennes sur T classes correspondant à T
35 caractéristiques dudit ensemble discret préalablement

sélectionnées, le nombre prédéterminé T étant fourni audit circuit de calcul ;

(3) un circuit de classification par recherche, pour tous les points dudit ensemble discret, de celle des T moyennes calculées qui est la plus proche du niveau de chaque signal et regroupement correspondant desdits points, ledit circuit de classification délivrant des labels qui indiquent celle des classes à laquelle appartient chaque point au terme de ladite segmentation initiale.

Dans un autre mode de réalisation, ledit ensemble discret comprend des données multimodales pour lesquelles les signaux numériques d'entrée correspondant auxdites données sont regroupés en C canaux, et ledit sous-ensemble de segmentation initiale, recevant lesdits signaux d'entrée, comprend en série :

(1) un étage de segmentation unimodale, recevant parmi lesdits signaux d'entrée les signaux associés aux M x N données qui correspondent à l'un des C canaux et comprenant en série :

(a) un circuit d'extraction de l'histogramme des niveaux de grandeur exprimés par ces signaux d'entrée et qui correspondent respectivement à chaque point dudit ensemble ;

(b) un circuit de calcul, à partir dudit histogramme, de moyennes sur T classes correspondant à T caractéristiques dudit ensemble discret préalablement sélectionnées, le nombre prédéterminé T étant fourni audit circuit de calcul ;

(c) un circuit de classification par recherche, pour tous les points dudit ensemble discret, de celle des T moyennes calculées qui est la plus proche du niveau de chaque signal associé à la donnée correspondant à chaque point puis par regroupement correspondant desdits points, ledit circuit de classification délivrant des labels qui indiquent celle des classes à laquelle appartient chaque point au terme

de la segmentation unimodale ;

(2) un sous-ensemble de mise à jour de ladite segmentation unimodale, comprenant en série :

5 (a) un circuit de mise à jour dudit calcul de moyennes sur les T classes, recevant d'une part les signaux de sortie dudit circuit de classification et d'autre part les signaux associés aux M x N x (C-1) autres données correspondant aux (C-1) autres canaux ;

10 (b) un circuit de mise à jour de ladite classification, délivrant des labels qui indiquent celle des classes à laquelle appartient chaque point dudit ensemble discret au terme de la segmentation initiale.

Selon un mode préférentiel de réalisation du dispositif, les paramètres "variance" sont donnés par
15 l'expression :

$$V_{q,j}^2 = \sum_{(s/\ell(s) = q)} (x_{s,j} - M_{2_{q,j}})^2 / Nq$$

où j = 1 à C désigne l'indice du canal, $x_{s,j}$ ledit niveau de grandeur sur le canal j constaté en un site s déterminé, $\ell(s)$ le label attribué à ce site s, $M_{2_{q,j}}$ les moyennes sur chaque
20 canal j indépendamment, et Nq le nombre total de sites auxquels le label q est attribué.

Selon une variante de réalisation du dispositif, les paramètres "variance" sont les éléments de la matrice des covariances sur les différents canaux, donnés par l'expression
25 suivante :

$$V_{q,j1,j2} = \sum_{(s/\ell(s) = q)} (x_{s,j1} - M_{2_{q,j1}})(x_{s,j2} - M_{2_{q,j2}}) / Nq$$

où j1,j2 désignent les indices des deux canaux concernés, $x_{s,j}$ ledit niveau de grandeur sur le canal j constaté en un site s déterminé, $\ell(x)$ le label attribué à ce site s, $M_{2_{q,j}}$ les
30 moyennes sur chaque canal j considéré indépendamment, et Nq le nombre total de sites auxquels le label q est attribué.

Dans l'un ou l'autre cas, une disposition avantageuse, dans ce dispositif, consiste à prévoir le renvoi de la sortie du sous-ensemble de mise à jour de la segmentation

unimodale vers son entrée pour réalisation d'une nouvelle classification, jusqu'à interruption de ce processus itératif selon un critère de convergence déterminé.

5 Quelle que soit la réalisation de ce dispositif qui se trouve concernée, il est en tout cas prévu, dans une réalisation préférentielle de l'invention, que le sous-ensemble d'étiquetage comprend en série :

10 (1) une mémoire des probabilités conditionnelles délivrées par lesdites première et deuxième voies et de probabilités intermédiaires déterminées de façon interne audit sous-ensemble d'étiquetage ;

15 (2) un circuit de calcul de grandeurs égales ou proportionnelles aux probabilités marginales de chaque label pour chaque site, ledit calcul étant conduit selon les étapes suivantes, pour tous les q, a, b, c possibles :

 (a) on définit $F_{m,n}(q)$ comme la probabilité conditionnelle $p(q/X_{mn})$ d'avoir au site (m,n) un label q , la référence X_{mn} désignant l'ensemble des sites situés au-dessus et à gauche du site (m,n) ;

20 (b) pour chaque b , on examine la valeur $F = F_{m-1,n-1}(b)$ pour ne la prendre en compte que si elle est supérieure à un seuil déterminé ;

 (c) on calcule alors l'expression :

$$H = Y_{m-1,n}(a,b) \cdot Z_{m,n-1}(c,b) \cdot p(q/a,b,c) \cdot p_q(x_{mn}) / F$$

25 où : $Y_{m-1,n}(a,b) = p(a,b/X_{m-1,n})$

 et : $Z_{m,n-1}(c,b) = p(c,b/X_{m,n-1})$

 et l'on effectue une addition cumulée des valeurs de H , pour obtenir une grandeur J et une grandeur $L_{m-1,n-1}(b)$;

30 (d) on reprend les étapes (b) et (c) jusqu'à ce que tous les sites aient été traités de façon similaire, la valeur cumulée de J étant ajoutée à $Y_{m,n}(q,c)$ et à $Z_{m,n}(q,a)$ puis remise à zéro, et la valeur cumulée de $L_{m-1,n-1}(b)$ constituant ladite grandeur égale ou proportionnelle à la probabilité marginale du label b au site $(m-1,n-1)$;

(e) on reprend les étapes (b) à (d) jusqu'à ce que toutes les combinaisons (q,a,c) aient été traitées de façon similaire ;

5 (3) un circuit d'étiquetage des sites, par comparaison des valeurs de $L_{m-1,n-1}(b)$ et attribution à chaque site (m-1,n-1) du label b correspondant à la valeur de $L_{m-1,n-1}(b)$ la plus grande.

10 Dans le cas de ce dernier mode de réalisation, une variante avantageuse consiste en ce que, dans le circuit de calcul de grandeurs égales ou proportionnelles aux probabilités marginales de chaque label pour chaque site, il est prévu dans l'étape (c) une étape (c₂) supplémentaire de normalisation par division de toutes les valeurs de Y et de Z par une norme $N_{m,n}$ égale, pour tous les b, à $\sum_b L_{m-1,n-1}(b)$.

15 Les particularités et avantages de l'invention apparaîtront de façon plus détaillée dans la description qui suit et dans les dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs et dans lesquels :

20 - les figures 1 et 4 montrent deux exemples de réalisation du dispositif selon l'invention ;

- la figure 2 représente un exemple de chaîne de Markov d'ordre 3, et la figure 3 montre dans ce cas les différentes configurations possibles, dans lesquelles les pixels reliés par un trait, et seulement ceux-ci, sont identiques.

25 Avant de décrire plus précisément des exemples d'application de l'invention à la segmentation d'images, on rappelle que, dans une telle application, les images à segmenter ont été prélevées par des moyens qui n'entrent pas dans le cadre de cette invention et qui sont directement
30 dépendants de l'application. Les images peuvent provenir de satellites, avoir été obtenues à l'aide d'appareils médicaux, etc..., elles peuvent aussi être déjà le résultat d'un prétraitement, comme par exemple dans le cas d'images texturées où à chaque image prétraitée correspondent des vecteurs
35 contenant pour chaque site des caractéristiques de textures

tirées préalablement de l'image originale. Dans tous les cas, ces images sont disponibles, à l'entrée du dispositif décrit, sous forme de signaux numériques. Ces signaux correspondent, dans l'exemple décrit en référence à la figure 1, à des données unimodales et, dans l'exemple décrit en référence à la figure 4, à des données multimodales regroupées en C canaux désignés par $j = 1, 2, \dots, C$.

Dans la séquence des images successives, chaque image numérique est ici définie à l'aide d'un réseau bidimensionnel de points de coordonnées (x,y) , ou sites $s(m,n)$ avec $m = 1$ à M et $n = 1$ à N , auquel sont associés des vecteurs dits observables $I(x,y)$ quantifiés, pour la composante j de chaque vecteur, sur V_j valeurs distinctes (par exemple de 0 pour le ou les points les plus sombres à 255 pour le ou les points les plus clairs), régulièrement espacées en général et appartenant à un ensemble $G_j = g_1, g_2, g_3, \dots, g_{V_j}$. La segmentation de telles images consiste à y définir des régions, soit en réduisant le nombre des valeurs de quantification des vecteurs observables à l'aide d'une technique de transformation qui élimine parmi les données initiales les informations redondantes pour ne conserver que les informations essentielles, soit, dans le cas de textures, en subdivisant les images en régions spatialement cohérentes selon certains critères d'homogénéité.

Pour respecter le formalisme mathématique qui est en général adopté lorsqu'on utilise une modélisation par champ de Markov (les rappels théoriques concernant cette modélisation elle-même seront effectués plus loin dans la description), on dira, dans la suite de la présente description, qu'à chaque image X de la séquence des images d'entrée est associé un ensemble S de sites qui correspondent à la localisation de chaque pixel. Chaque site i appartient à cet ensemble S qui comprend M lignes \times N colonnes.

La segmentation d'une image consiste à associer à chaque pixel de celle-ci une étiquette ou label, qu'on notera $l(m,n)$, m et n désignant respectivement la ligne courante et la

colonne courante du pixel considéré, et désignant donc un site déterminé associé à ce pixel. Ces labels permettent de classer chaque pixel dans une région déterminée de l'image, sur la base de propriété(s) particulière(s) reconnue(s) comme commune(s) à la région considérée. Il est bien entendu ici que ces labels ne sont pas directement observables ou mesurables à partir des signaux d'entrée représentatifs des images, et qu'il faut donc les déterminer. Dans le cadre de la présente invention, le nombre de classes, appelé par exemple T, doit être prédéfini par l'utilisateur, T étant un nombre entier arbitraire. Par exemple, dans le cas d'une classification de terrains à partir d'images fournies par des satellites, on aura tendance à définir T comme étant le nombre de types de terrain différents connus a priori. De façon similaire, en imagerie médicale on choisira le nombre de types de tissu présents dans la partie du corps représentée par l'image.

Dans un premier exemple de réalisation, représenté sur la figure 1 et qui correspond à une segmentation à partir de données numériques unimodales (c'est-à-dire de vecteurs de données observables $I(x,y)$ unimodales), le dispositif de segmentation selon l'invention comprend tout d'abord un sous-ensemble de segmentation initiale 100. Ce sous-ensemble 100, qui reçoit les signaux numériques représentatifs de chaque image à segmenter, comprend en série un circuit 11 d'extraction de l'histogramme des valeurs observables $I(x,y)$, un circuit 12 de calcul de moyennes sur T classes correspondant à T caractéristiques d'image sélectionnées pour la segmentation, et un circuit 13 de classification.

La mise en oeuvre de ce sous-ensemble 100 est la suivante. En fonction de l'importance de la segmentation recherchée dans l'application considérée, un certain nombre T de classes est choisi en correspondance à T caractéristiques déterminées, par exemple T classes correspondant, dans le cas d'images en provenance de satellites, à des forêts, à des champs, à des lacs, etc..., ou, dans le cas d'images médicales,

à différents types de tissus corporels (dans la suite de la description, on peut prendre par exemple $T = 8$). L'histogramme des données observables $I(x,y)$, extrait à l'aide du circuit 11, est fourni au circuit 12 qui le divise en $2T$ zones de la façon suivante : on divise l'histogramme en T zones de surface égale, puis on détermine dans chacune de ces T zones sa moyenne $M1(T)$. Cet ensemble de subdivision revient, en fait, à diviser l'histogramme en $2T$ zones de surface égale délimitées par $(2T+1)$ valeurs observables $g(0), g(1), g(2), \dots, g(2T-1), g(2T)$, et à prendre les valeurs $g(1), g(3), \dots, g(2T-3), g(2T-1)$ comme valeurs de moyennes.

Ces T moyennes étant maintenant déterminées, le circuit 13 de classification, qui reçoit les signaux de sortie du circuit 12 et les $(M \times N)$ signaux numériques d'entrée du dispositif, recherche pour tout pixel (de site i) de l'image la moyenne la plus proche. Pour cela, ce circuit 13 effectue la détermination de la grandeur $|g(x) - M1(T)|$. Dans cette expression $g(x)$ est la valeur quantifiée attachée au pixel considéré, $M1(T)$ prend successivement les T valeurs possibles (ici, $T = 8$, chaque pixel étant alors, dans ce cas, rangé dans l'une des $T = 8$ classes considérées), et le label correspondant à chaque pixel est noté ici $\ell(CL)$, où l'indice CL peut prendre T valeurs distinctes. Ce label $\ell(CL)$, déterminé pour chacun des pixels de l'image, définit une première segmentation de l'image, qu'on appelle ici segmentation initiale. Les $M \times N$ labels ainsi définis constituent les $(M \times N)$ signaux de sortie du sous-ensemble de segmentation initiale 100.

Ce sous-ensemble 100 est suivi d'un sous-ensemble 200 de mise à jour des probabilités, qui reçoit d'une part les $(M \times N)$ signaux d'entrée du dispositif et d'autre part les $(M \times N)$ labels déterminés par le sous-ensemble 100 et délivre, comme on le verra ci-après, des probabilités conditionnelles $p(q/abc)$ et $p_q(x)$ respectivement. Ce sous-ensemble 200 comprend, à cet effet, en parallèle, des première et deuxième voies 201 et 202 de détermination de ces probabilités conditionnelles, et

ladite détermination est effectuée comme indiqué maintenant.

Si, dans une image, on appelle passé d'un site s quelconque l'ensemble des sites d'indice inférieur (c'est-à-dire, par exemple pour un balayage d'image de type télévision, l'ensemble constitué par les sites déjà balayés sur la même ligne que ce site s et les sites de toutes les lignes supérieures), la densité de probabilité attachée à l'ensemble L des labels ℓ possibles s'exprime sous la forme d'un produit (effectué sur tous les sites) de probabilités d'avoir le label $\ell(s)$ au site $s = (m,n)$, lesdites probabilités étant conditionnelles au passé de ce site. La propriété d'un champ de Markov dit unilatéral se concrétise de la façon suivante : ces probabilités conditionnelles (ou probabilités de transition) ne dépendent pas de tous les labels du passé de ce site, mais seulement des labels d'un nombre limité des sites appartenant à ce passé. Ce nombre de sites limité, qu'on appelle le sous-ensemble des parents de s , définit l'ordre du champ de Markov ainsi constitué, et le site s lui-même est appelé par la suite le site enfant de ses parents.

Dans les exemples de réalisation mentionnés dans la présente description, on ne décrira qu'un modèle d'ordre 3, c'est-à-dire que la probabilité $p(\ell(m,n))$ d'obtenir un label $\ell(m,n)$ en un site $i(m,n)$ situé à l'intersection de la m -ième ligne et de la n -ième colonne ne dépend que des probabilités déterminées de façon similaire pour les sites $i(m-1, n)$, $i(m-1, n-1)$, $i(m, n-1)$, avec m et n supérieurs à 1. La figure 2 montre un tel modèle d'ordre 3 : pour simplifier les notations, on a appelé q le label du site i (ou site "enfant"), et a, b, c les labels des trois autres sites "parents". Avec un tel exemple d'ordre 3, et dans le cas où toutes les probabilités conditionnelles sont présumées non nulles, l'expression de la probabilité conditionnelle (ou de transition) peut être notée sous forme exponentielle à l'aide d'une fonction (ou opérateur) $L(q/abc)$. On appelle L un propageur, car cet opérateur propage une influence des parents aux enfants. On

écrit alors :

$$p(q/a,b,c) = \exp L(q/a,b,c)/Z(a,b,c) \quad (1)$$

Le dénominateur Z est simplement un facteur de normalisation :

$$Z(a,b,c) = \sum_u \exp L(u/a,b,c) . \quad (2)$$

5 la somme \sum sur u étant effectuée sur les T valeurs de labels. Ainsi, Z permet d'assurer la contrainte de normalisation (on doit en effet vérifier l'égalité $\sum_u P(u/a,b,c) = 1$, pour tous les sites). Dans l'approche ici faite, le propagateur L(q/a,b,c) est défini par l'expression (3) suivante :

$$10 \quad L(q/a,b,c) = B(v) \cdot d(q,a) + B(d) \cdot d(q,b) + B(h) \cdot d(q,c) \\ + B(v,d) \cdot d(q,a,b) + B(d,h) \cdot d(q,b,c) \\ + B(v,h) \cdot d(q,a,c) + B(v,d,h) \cdot d(q,a,b,c) \quad (3)$$

Dans cette expression, v, d, h désignent respectivement le site parent vertical, diagonal ou horizontal du site enfant i, les B(.) sont des paramètres indépendants constituant des coefficients dits de propagation, et les d(.) sont égaux à 1 si les labels correspondant aux indices entre parenthèses sont identiques, ou à 0 sinon. Dans le propagateur ainsi défini, les sept valeurs B(.), qui représentent les paramètres du modèle markovien, caractérisent la tendance d'un site enfant de se voir décerner le même label que ses parents : donc, si par exemple la constante B(v) est positive et grande, le site enfant aura forte tendance à avoir le même label que son parent vertical.

25 La connaissance de la probabilité p(q/a,b,c) dépend donc de celle du propagateur L, c'est-à-dire de celle des paramètres B(.). On peut alors démontrer que la connaissance de ces paramètres dépend elle-même de celle des probabilités de configuration à l'intérieur du modèle de chaîne de Markov choisi (celui représenté sur la figure 2). Ces probabilités de configuration sont notées respectivement S(1234), S(1233), S(1232), S(1231), S(1223), S(1222), S(1221), S(1213), S(1212), S(1211), S(1123), S(1122), S(1121), S(1112), S(1111). La signification de ces grandeurs S(.) dans le cas du modèle de la

figure 2 est visualisée sur la figure 3, qui associe à chaque probabilité de configuration S(.) la représentation de la configuration correspondante, à savoir celle pour laquelle les pixels reliés par un trait, et seulement ceux-ci, sont identiques. Ces probabilités de configuration sont déterminées par simple comptage du nombre de fois où, dans l'image concernée, apparaît une configuration déterminée.

Ce comptage est réalisé dans la première voie 201 qui comprend à cet effet un circuit 211 de détermination de ces probabilités de configuration S(.) dans l'image segmentée présente en sortie du sous-ensemble 510. Ce circuit 211 est suivi d'un circuit 212 de calcul des coefficients de propagation B(.). On a vu plus haut que la connaissance de ces coefficients dépendait de celle des probabilités S(.). Sans expliciter l'ensemble des raisonnements qui permettent d'établir cette dépendance, on ne donnera ici que les relations (4) à (14) qui lient les B(.) et les S(.), et qui, dans le cas où le nombre T est supérieur ou égal à 4, sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \exp B(v) &= k.S(1123) & (4) \\ \exp B(d) &= k.S(1213) & (5) \\ \exp B(h) &= k.S(1231) & (6) \\ \exp B(v,d) &= c(v,d).(\exp B(h) + T-2).\exp (B(v) + B(d)) & (7) \\ \exp B(v,h) &= c(v,h).(\exp B(d) + T-2).\exp (B(v) + B(h)) & (8) \\ \exp B(d,h) &= c(d,h).(\exp B(v) + T-2).\exp (B(d) + B(h)) & (9) \\ \exp B(v,d,h) &= \frac{(T-1).S(1111)/S(1222)}{\exp (B(v) + B(d) + B(h) + B(v,d) + B(v,h) + B(d,h))} & (10) \\ c(v,d) &= S(1112)/(S(1221) + S(1223)) & (11) \\ c(v,h) &= S(1121)/(S(1212) + S(1232)) & (12) \\ c(d,h) &= S(1211)/(S(1122) + S(1233)) & (13) \\ k &= (T-3)/S(1234), & (14) \end{aligned}$$

Dans le cas où T = 3, les équations (4) à (14) restent vérifiées, mais la valeur de k est arbitraire (toute valeur de k donne lieu à la même valeur de L(q/a,b,c) et conduit donc à des segmentations identiques). On peut par exemple choisir k tel que B(v) + B(d) + B(h) = 0, ce qui implique que k soit égal

à la racine cubique de $1/S(1123) \times S(1213) \times S(1231)$, mais tout autre choix de k convient aussi. De même, dans le cas où $T = 2$, toute valeur de k donne lieu aux mêmes valeurs $L(q/a,b,c)$, et donc à des segmentations identiques. Les coefficients $B(.)$ étant ainsi déterminés, un circuit 213 prévu en série avec les circuits 211 et 212 détermine, conformément à l'expression (1), la probabilité conditionnelle (ou de transition) $p(q/a,b,c)$.

La deuxième voie 202 reçoit, comme la première, les $(M \times N)$ labels de sortie du sous-ensemble 100, et les fournit à un circuit 221 de calcul de paramètres de classe (ici, moyennes et variances). En effet, le circuit 12 avait effectué un premier calcul de moyennes sur T classes, mais ces classes avaient été, pour l'initialisation du fonctionnement du dispositif de segmentation, constituées de façon arbitraire, par division de l'histogramme des valeurs observables en T zones. Cette segmentation initiale arbitraire étant maintenant remplacée en sortie du sous-ensemble 100 par une segmentation répondant désormais au moins approximativement à un critère de classement, il est donc possible d'effectuer un nouveau calcul de paramètres pour chacune des T classes répondant aux T labels possibles pour les pixels, plus précisément un nouveau calcul de la moyenne, notée $M2(T)$, ainsi que le calcul de la variance (élevée au carré) correspondante, notée $V2(T)$. Les T valeurs $M2(T)$ et $V2(T)$ ainsi calculées sont les $2T$ signaux de sortie du circuit 221.

Ces $2T$ signaux sont fournis à un circuit 222 de détermination de la probabilité conditionnelle d'un niveau de gris x pour un label q constaté en un site i . On sait en effet que la segmentation finale doit être en accord avec les données initiales, qui résultent d'une observation ou d'une mesure. Dans le cas de données observables $I(x,y)$ unimodales, cette probabilité conditionnelle, notée $p_q(x)$, est donnée pour chaque classe par l'expression (15) suivante :

$$p_q(x) = \frac{1}{\sqrt{2(T)}\sqrt{2\pi}} \cdot \exp \frac{(x-M2(T))^2}{2\sqrt{2(T)}^2} \quad (15)$$

Les probabilités conditionnelles de sortie des deux voies 201 et 202, présentes en sortie des circuits 213 et 222, constituent les deux types de signaux de sortie du sous-ensemble 200 de mise à jour des probabilités, et sont alors envoyées vers deux entrées correspondantes d'un sous-ensemble 300 d'étiquetage des pixels. Ce sous-ensemble 300 reçoit également, sur une troisième entrée, les (M x N) signaux numériques d'entrée du dispositif, et détermine des probabilités dites marginales, à partir desquelles sont à leur tour déterminés de nouveaux labels $\ell(.)$ définissant une nouvelle segmentation de l'image. Ces probabilités marginales sont déterminées comme indiqué ci-dessous, dans la description du fonctionnement du sous-ensemble 300.

On rappellera cependant, préalablement, quelques notations. Le site qui est momentanément traité est le site (m,n), avec m compris entre 1 et M inclus et n entre 1 et N inclus. La partie d'image qui est située au-dessus et à gauche du site (m,n) est notée X_{mn} . La probabilité conditionnelle $p(q/X_{mn})$ d'avoir au site (m,n) le label q est notée $F_{mn}(q)$. On désigne enfin par $p(q,a,b,c/X_{mn})$ la probabilité marginale recherchée d'avoir les labels (ou étiquettes) $\ell_{m,n} = q$, $\ell_{m-1,n} = a$, $\ell_{m-1,n-1} = b$, $\ell_{m,n-1} = c$ sur les sites correspondants.

La détermination de $p(q,a,b,c/X_{mn})$ pour chaque site est réalisée, dans le sous-ensemble 300, comme indiqué maintenant, les données utilisées par ce sous-ensemble étant les suivantes : les probabilités conditionnelles $p_q(x)$ délivrées par la voie 202 (pour lesquelles l'ensemble des x pour chaque site m,n correspond à l'ensemble des données observables I), les probabilités conditionnelles $p(q/a,b,c)$ délivrées par la voie 201, ainsi que les probabilités suivantes :

$$Y_{m-1,n}(a,b) = p(a,b/X_{m-1,n}) \text{ et } Z_{m,n-1}(c,b) = p(c,b/X_{m,n-1}).$$

déterminées pour tous les q, a, b, c possibles et de façon

interne audit sous-ensemble 300. Toutes ces probabilités sont stockées dans une mémoire 301.

Un circuit de calcul 302 situé en sortie de cette mémoire procède alors, pour tous les q, a, b, c possibles, aux déterminations suivantes, par étapes successivement énumérées :

(1) pour chaque b , on examine la valeur

$F = F_{m-1,n-1}(b)$, qui n'est pas prise en compte si elle est inférieure à un seuil déterminé, par exemple 10^{-8} ;

(2) si au contraire cette valeur dépasse ledit seuil, on calcule une grandeur H , notée $H_{mn}(q,a,b,c)$ selon l'expression (16) :

$$H = Y_{m-1,n}(a,b) \cdot Z_{m,n-1}(c,b) \cdot p(q/a,b,c) \cdot p_q(x_{mn}) / F \quad (16)$$

F venant d'être définie, et les Y et Z ayant été préalablement initialisés à zéro (puis calculés de façon particulière -explicitée plus loin- pour la première ligne et pour la première colonne) ;

(3) cette valeur de H est additionnée à une grandeur J , initialisée à zéro (cette addition est en fait une addition cumulée des valeurs de H) et à une grandeur $L_{m-1,n-1}(b)$ (également initialisée à zéro) égale ou proportionnelle à la probabilité marginale du label b au site $(m-1,n-1)$ et donnée par l'expression (17) :

$$L_{m-1,n-1}(b) = \sum_{q,a,c} H_{mn}(q,a,b,c) \quad (17)$$

puis on reprend l'étape (1) tant que tous les b n'ont pas été traités de façon similaire ;

(4) la valeur ainsi obtenue pour J est ajoutée à $Y_{m,n}(q,c)$ et à $Z_{m,n}(q,a)$;

(5) après remise de J à zéro, on reprend les étapes (1) à (4) tant que toutes les combinaisons (q,a,c) n'ont pas été traitées de façon similaire.

Lorsque toutes les combinaisons (q,a,c) ont été effectivement prises en compte, le circuit de calcul 302 délivre pour toutes ces combinaisons les grandeurs $L_{m-1,n-1}(b)$, $Y_{m,n}(qc)$, $Z_{m,n}(qa)$. Pour éviter que les variables conservées en

mémoire ne deviennent trop petites pour un traitement numérique précis, on procède à une opération de normalisation, qui consiste dans le cas présent à déterminer une norme $N_{m,n}$ définie comme la somme des grandeurs $L_{m-1,n-1}(b)$ pour tous les b , et à

5 diviser toutes les grandeurs $Y_{m,n}(q)$ et $Z_{m,n}(q)$ par cette norme $N_{m,n}$. On renvoie ensuite du circuit 302 vers la mémoire 301 les valeurs normalisées qui sont nécessaires pour les calculs ultérieurs. Comme on l'a vu plus haut, les probabilités Y et Z sont utilisées de façon interne au sous-ensemble 300, pour le

10 calcul de H selon l'expression (16), tandis que les valeurs de $L_{m-1,n-1}(b)$ constituent les signaux de sortie du circuit de calcul 302.

Ce circuit 302, qui a donc calculé des grandeurs égales ou proportionnelles aux probabilités marginales de

15 chaque label pour chaque site, est alors suivi d'un circuit 303 d'étiquetage des sites (sauf les sites des première et dernière lignes et des première et dernière colonnes, qui sont traités de manière particulière comme on le décrit ci-dessous). Cet étiquetage des sites est réalisé par comparaison des valeurs de

20 $L_{m-1,n-1}(b)$ et attribution au site $(m-1, n-1)$ du label b correspondant à la valeur de L la plus grande.

Dans le cas d'un site de la première ligne ou de la première colonne, on n'effectue pas d'étiquetage, mais simplement on remplit progressivement la mémoire 301 (comme

25 indiqué ci-après) avec les valeurs nécessaires pour le traitement des lignes et colonnes suivantes. Pour le premier site $(1,1)$, la probabilité de distribution des labels est donnée, après normalisation, par :

$$F_{1,1}(q) = p_q(x_{1,1}) / \sum_q p_q(x_{1,1}) \quad (18)$$

30 expression dans laquelle $p_q(x_{1,1})$ est égale pour tous les labels. Cette valeur $F_{1,1}(q)$ est stockée dans la mémoire 301.

Pour le traitement des sites de la première ligne, on calcule les $F_{1,n}(q)$ à partir des expressions (19) à (22) suivantes :

$$F'_{1,n}(q) = \sum_c Y_{1,n}(q,c) \quad (19)$$

$$\text{ou : } F'_{1,n}(q) = \sum_c F_{1,n-1}(c) \cdot P^{\text{hor}}(q/c) \cdot p_q(x_{1,n}) \quad (20)$$

expression (20) dans laquelle $P^{\text{hor}}(q/c)$, calculé dans la première voie 201, est donné par :

$$5 \quad P^{\text{hor}}(q/c) = \exp((B(h) \cdot d(q,c)) - \log(\exp(B(h) + T - 1))) \quad (21)$$

Ce calcul est, comme précédemment, suivi d'une normalisation (division par $N_{1,n} = \sum_q F'_{1,n}(q)$), qui conduit finalement à :

$$F_{1,n}(q) = F'_{1,n}(q) / \sum_q F'_{1,n}(q) \quad (22)$$

10 Pour le traitement des sites de la première colonne, on calcule de façon similaire les $F_{m,1}(q)$ à partir des expressions (23) à (26) suivantes :

$$F'_{m,1}(q) = \sum_a Z_{m,1}(q,a) \quad (23)$$

$$\text{ou : } F'_{m,1}(q) = \sum_a F_{m-1,1}(a) \cdot P^{\text{ver}}(q/a) \cdot p_q(x_{m,1}) \quad (24)$$

15 expression (24) dans laquelle $P^{\text{ver}}(q/a)$, également calculé dans la première voie 201, est donné par :

$$P^{\text{ver}}(q/a) = \exp((B(v) \cdot d(q,a)) - \log(\exp(B(v) + T - 1))) \quad (25)$$

Ce calcul est, là encore, suivi d'une normalisation conduisant finalement à :

$$F_{m,1}(q) = F'_{m,1}(q) / \sum_q F'_{m,1}(q) \quad (26)$$

20 Les valeurs de Y, Z, F sont au fur et à mesure conservées dans la mémoire 301, pour permettre les calculs ultérieurs.

Dans le cas d'un site de la dernière colonne ($n = N$), le circuit de calcul 302 évalue $L_{m-1,n}(a) = \sum_q Z_{m,n}(qa)$ et le label qui rend $L_{m-1,n}$ maximal est attribué au site $(m-1, N)$. De même, dans le cas d'un site de la dernière ligne ($m = M$), le circuit de calcul 302 évalue $L_{m,n-1}(c) = \sum_q Y_{m,n}(qc)$ et le label qui rend $L_{m,n-1}$ maximal est attribué au site $(M, n-1)$. Pour le site (M, N) , le circuit 302 évalue $L_{m,n}(q) = F_{m,n}(q)$ et le label qui rend $L_{m,n}$ maximal est attribué au site (M, N) . L'ensemble des labels ainsi délivrés par le circuit 303 forme un jeu de labels modifié constituant une mise à jour du jeu de labels initial.

30

Un sous-ensemble de séquencement 400 reçoit alors, sur des première et deuxième entrées, ledit jeu de labels initial et le jeu de labels modifié résultant de la mise à jour, et en

effectue tout d'abord la comparaison dans un circuit de
comparaison 410. Selon que les jeux de labels diffèrent ou non
pour plus d'un nombre déterminé de pixels (par exemple 40), un
circuit 420 situé à la suite du circuit 410 commande l'arrêt du
5 processus de segmentation (et le jeu de labels mis à jour est
définitivement sélectionné) ou au contraire la substitution, à
l'entrée des deux voies 201 et 202, dudit jeu de labels mis à
jour au jeu de labels initial. S'il y a substitution, une
nouvelle mise en oeuvre des sous-ensembles 200 à 400
10 intervient. S'il y a au contraire arrêt de ce processus, la
mise en oeuvre du dispositif de segmentation selon l'invention
est terminée, et le jeu de labels ainsi sélectionné constitue
les signaux de sortie définitifs de ce dispositif de
segmentation.

15 Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à cet
exemple de réalisation, à partir duquel des variantes peuvent
être proposées sans sortir pour cela du cadre de cette
invention. En particulier, dans un deuxième exemple de
réalisation, représenté sur la figure 4 et qui correspond à une
20 segmentation à partir de données numériques multimodales
(c'est-à-dire de vecteurs de données observables $I(x,y)$
multimodales), le dispositif de segmentation selon l'invention
comprend cette fois tout d'abord un sous-ensemble de
segmentation initiale 510. Ce sous-ensemble 510, qui reçoit
25 lesdites données numériques, comprend un étage 101 de
segmentation unimodale recevant parmi les $M \times N \times C$ données
d'entrée les $M \times N$ données qui correspondent à un seul des
canaux. Cet étage 101 comprend lui-même en série exactement les
mêmes éléments que le sous-ensemble de segmentation initiale
30 100, à savoir un circuit 11 d'extraction de l'histogramme
desdites $M \times N$ données, un circuit 12 de calcul de moyennes sur
 T classes correspondant à T caractéristiques d'image
sélectionnées pour la segmentation, et un circuit 13 de
classification. La mise en oeuvre de cet étage 101 est la même
35 que celle du sous-ensemble 100 de la figure 1 et les $M \times N$

labels $l(CL)$ déterminés, qui constituent les $(M \times N)$ signaux de sortie de l'étage de segmentation 101, définissent une première segmentation unimodale de l'image.

5 Dans une première réalisation, cette segmentation constitue la sortie de l'étage 510 (cette situation est représentée sur la figure 4 à l'aide de la connexion en trait discontinu en sortie du circuit 13). Dans une deuxième réalisation, l'étage 101 est suivi en série d'un sous-ensemble de mise à jour de cette segmentation unimodale, comprenant en 10 série un circuit 514 de mise à jour du calcul de moyennes effectué par le circuit 12, et un circuit 515 de mise à jour de la classification effectuée par le circuit 13. Le circuit 514, identique au circuit 221 décrit plus loin, reçoit d'une part les signaux de sortie du circuit de classification 13 et 15 d'autre part les signaux associés aux $M \times N \times C$ données d'entrée. Le circuit 515 qui le suit délivre des labels qui indiquent celle des classes à laquelle appartient chaque point au terme de ladite segmentation initiale. Dans ladite deuxième réalisation, cette segmentation constitue la sortie de l'étage 20 510.

Une troisième réalisation de l'étage 510, fonctionnant cette fois de façon itérative, prévoit, comme indiqué sur la figure 4, d'envoyer la sortie du sous-ensemble de mise à jour de la segmentation unimodale vers son entrée (c'est-à-dire la 25 sortie du circuit 515 vers l'entrée du circuit 514). Ainsi, après calcul des valeurs moyennes de chaque classe séparément (par la prise en compte des pixels appartenant à cette classe, à l'aide de formules équivalentes à l'expression (15)), puis classement des pixels de l'image suivant les C canaux par un 30 critère tel que celui d'une distance minimale, il est possible d'obtenir une nouvelle classification des pixels. Ce processus peut être répété, jusqu'à convergence vers un minimum de la distance par exemple. Cette segmentation constitue la sortie de l'étage 510 dans sa troisième réalisation.

35 Le sous-ensemble de segmentation initiale 510 est

suivi, en série, du sous-ensemble 200 de mise à jour de probabilités, qui reçoit comme précédemment les signaux d'entrée du dispositif et les (M x N) labels déterminés par le sous-ensemble 510 et délivre les probabilités conditionnelles $p(q/abc)$ et $p_q(x)$. Le sous-ensemble 200 comprend, comme dans le cas de la figure 1, les première et deuxième voies 201 et 202, identiques à la réalisation déjà décrite, sauf en ce qui concerne le circuit 221 de calcul de paramètres de classe.

Dans une première variante de réalisation, le circuit 221 calcule en effet les moyennes et les variances, sur chaque canal indépendamment. Les moyennes, notées $M2_{q,j}$, sont données par l'expression (27) suivantes :

$$M2_{q,j} = \sum_{(s/\ell(s) = q)} x_{s,j} / Nq \quad (27)$$

où $j = 1$ à C désigne l'indice du canal, $x_{s,j}$ le niveau de grandeur sur le canal j constaté en un site s déterminé, $\ell(s)$ le label attribué à ce site s , et Nq le nombre total de sites auquel le label q est attribué. Les variances V sont, elles, données ici par l'expression (28) suivante :

$$V_{q,j}^2 = \sum_{(s/\ell(s) = q)} (x_{s,j} - M2_{q,j})^2 / Nq \quad (28)$$

Dans une autre variante de réalisation, le jeu de paramètres de classe comprend, en plus des moyennes $M2_{q,j}$, les éléments de la matrice des covariances sur les différents canaux, donnés par l'expression (29) suivante :

$$V_{q,j1,j2} = \sum_{(s/\ell(s) = q)} (x_{s,j1} - M2_{q,j1})(x_{s,j2} - M2_{q,j2}) / Nq \quad (29)$$

Dans l'une ou l'autre de ces variantes, les valeurs $M2$ et V ainsi calculées sont, comme précédemment, les 2T signaux de sortie du circuit 221.

Ces signaux sont fournis au circuit 222 de détermination de probabilité conditionnelle. Dans le cas de la première variante de réalisation du circuit 221, cette probabilité conditionnelle $p_q(x)$ est donnée pour chaque classe par l'expression (30) suivante :

$$p_q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \prod_{j=1}^{j=D} V_{q,j}} \exp \left(-0,5 \sum_{j=1}^{j=D} \frac{(x_j - M2_{q,j})^2}{V_{q,j}^2} \right) \quad (30)$$

Dans le cas de la deuxième variante de réalisation du circuit 221, la probabilité conditionnelle déterminée par le circuit 222 est cette fois donnée, pour chaque classe, par l'expression (31) suivante :

$$5 \quad p_q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \det(V_{q,j_1j_2})} \exp(-0,5 \sum_{j=1}^{j=D} (x_{j_1} - M2_{q,j_1}) b_{q,j_1j_2} (x_{j_2} - M2_{q,j_2})) \quad (31)$$

expression (31) dans laquelle b_{q,j_1j_2} est la matrice inverse de V_{q,j_1j_2} . Dans l'un et l'autre cas, les probabilités conditionnelles de sortie des deux voies 201 et 202, présentes en sortie des circuits 213 et 222, constituent les signaux de sortie du sous-ensemble 200 envoyés vers les deux entrées du sous-ensemble 300 d'étiquetage des pixels. Ce sous-ensemble 300 et le sous-ensemble de séquençement 400 ne sont pas modifiés par rapport à la réalisation de la figure 1.

10

REVENDICATIONS :

1. Dispositif de segmentation d'un ensemble discret de données correspondant à des sites (m,n) avec m compris entre 1 et M inclus et n entre 1 et N inclus, à partir de signaux
 5 numériques d'entrée correspondant auxdites données, caractérisé en ce qu'il comprend en série :

(A) un sous-ensemble de segmentation initiale par extraction d'histogramme, calcul de moyennes sur T classes, et classification par recherche de celle des moyennes qui est la
 10 plus proche du signal calculé ;

(B) un sous-ensemble de détermination et mise à jour de probabilités, recevant d'une part lesdits labels et d'autre part lesdits signaux numériques d'entrée et comprenant lui-même :

15 (1) en sortie dudit sous-ensemble de segmentation initiale, une première voie de détermination de probabilités conditionnelles $p(q/a,b,c)$, comprenant elle-même en série :

(a) un circuit de détermination de probabilités dites de configuration traduisant l'identité ou la
 20 non-identité des niveaux correspondant à chacune des quinze configurations possibles à l'intérieur d'un modèle bidimensionnel en carré (q,a,b,c) de chaîne de Markov, q étant appelé dans ledit ensemble à segmenter le label à déterminer au site dit "enfant" et a,b,c les labels des sites dits
 25 "parents" ;

(b) un circuit de calcul de coefficients de propagation pour le modèle de chaîne de Markov ainsi choisi ;

(c) un premier circuit de détermination de la probabilité conditionnelle $p(a/abc) = \exp L(q/abc)/Z(abc)$, où Z est un facteur de normalisation et où $L(q/abc)$ est un opérateur
 30 dit de propagation de l'influence des parents aux enfants, défini par les expressions (3) à (14) :

$$L(q/abc) = B(v). d(qa) + B(d). d(qb). + B(h). d(qc) \\ + B(v,d). d(qab) + B(d,h). d(qbc) \\ + B(v,h). d(qac) + B(v,d,h). d(qabc) \quad (3)$$

 35

$$\exp B(v) = k.S(1123) \quad (4)$$

$$\exp B(d) = k.S(1213) \quad (5)$$

$$\exp B(h) = k.S(1231) \quad (6)$$

$$\exp B(v,d) = c(v,d).(\exp B(h) + T-2).\exp (B(v) + B(d)) \quad (7)$$

$$5 \quad \exp B(v,h) = c(v,h).(\exp B(d) + T-2).\exp (B(v) + B(h)) \quad (8)$$

$$\exp B(d,h) = c(d,h).(\exp B(v) + T-2).\exp (B(d) + B(h)) \quad (9)$$

$$\exp B(v,d,h) = \frac{(T-1).S(1111)/S(1222)}{\exp(B(v)+B(d)+B(h)+B(v,d)+B(v,h)+B(d,h))} \quad (10)$$

$$c(v,d) = S(1112)/(S(1221) + S(1223)) \quad (11)$$

$$c(v,h) = S(1121)/(S(1212) + S(1232)) \quad (12)$$

$$10 \quad c(d,h) = S(1211)/(S(1122) + S(1233)) \quad (13)$$

$$k = (T-3)/S(1234) ; \quad (14)$$

(2) également en sortie du sous-ensemble de segmentation initiale, et en parallèle sur la première voie, une deuxième voie de détermination de probabilités

15 conditionnelles $p_q(x_{mn})$, comprenant elle-même en série :

(a) un circuit de calcul de paramètres "moyenne" et de paramètres "variance" desdites T classes ;

(b) un deuxième circuit de détermination de probabilités conditionnelles ;

20 (C) en sortie dudit sous-ensemble de détermination et mise à jour de probabilités, un sous-ensemble d'étiquetage des points dudit ensemble de données, recevant sur des première et deuxième entrées les signaux de sortie desdites première et deuxième voies et sur une troisième entrée lesdits signaux

25 numériques d'entrée du dispositif, ledit circuit étant prévu pour délivrer un nouveau jeu de labels qui constitue la mise à jour de ladite segmentation initiale ;

(D) entre les deux sous-ensembles de segmentation initiale et de détermination et mise à jour de probabilités, un

30 sous-ensemble de séquençement, recevant sur des première et deuxième entrées respectivement le jeu de labels initial obtenu au terme de ladite segmentation initiale et le jeu de labels résultant de la mise à jour et comprenant en série :

(1) un circuit de comparaison desdits jeux de

labels ;

(2) selon le résultat de ladite comparaison, un circuit d'arrêt du processus de segmentation ou, au contraire, pour une nouvelle mise à jour, de substitution dudit jeu de labels mis à jour audit jeu de labels initial, ledit jeu de labels mis à jour étant envoyé vers l'entrée desdites première et deuxième voies.

2. Dispositif de segmentation selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit ensemble discret comprend des données unimodales et en ce que le sous-ensemble de segmentation initiale, recevant lesdits signaux d'entrée, comprend en série :

(1) un circuit d'extraction de l'histogramme des niveaux de grandeur exprimés par ces signaux d'entrée et qui correspondent respectivement à chaque point dudit ensemble ;

(2) un circuit de calcul, à partir dudit histogramme, de moyennes sur T classes correspondant à T caractéristiques dudit ensemble discret préalablement sélectionnées, le nombre prédéterminé T étant fourni audit circuit de calcul ;

(3) un circuit de classification par recherche, pour tous les points dudit ensemble discret, de celle des T moyennes calculées qui est la plus proche du niveau de chaque signal et regroupement correspondant desdits points, ledit circuit de classification délivrant des labels qui indiquent celle des classes à laquelle appartient chaque point au terme de ladite segmentation initiale.

3. Dispositif de segmentation selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit ensemble discret comprend des données multimodales pour lesquelles les signaux numériques d'entrée correspondant auxdites données sont regroupés en C canaux et en ce que ledit sous-ensemble de segmentation initiale, recevant lesdits signaux d'entrée, comprend en série :

(1) un étage de segmentation unimodale, recevant parmi lesdits signaux d'entrée les signaux associés aux $M \times N$ données qui correspondent à l'un des C canaux et comprenant en série :

5 (a) un circuit d'extraction de l'histogramme des niveaux de grandeur exprimés par ces signaux d'entrée et qui correspondent respectivement à chaque point dudit ensemble ;

10 (b) un circuit de calcul, à partir dudit histogramme, de moyennes sur T classes correspondant à T caractéristiques dudit ensemble discret préalablement sélectionnées, le nombre prédéterminé T étant fourni audit circuit de calcul ;

15 (c) un circuit de classification par recherche, pour tous les points dudit ensemble discret, de celle des T moyennes calculées qui est la plus proche du niveau de chaque signal associé à la donnée correspondant à chaque point puis par regroupement correspondant desdits points, ledit circuit de classification délivrant des labels qui indiquent
20 celle des classes à laquelle appartient chaque point au terme de la segmentation unimodale ;

(2) un sous-ensemble de mise à jour de ladite segmentation unimodale, comprenant en série :

25 (a) un circuit de mise à jour dudit calcul de moyennes sur les T classes, recevant d'une part les signaux de sortie dudit circuit de classification et d'autre part les signaux associés aux $M \times N \times (C-1)$ autres données correspondant aux $(C-1)$ autres canaux ;

30 (b) un circuit de mise à jour de ladite classification, délivrant des labels qui indiquent celle des classes à laquelle appartient chaque point dudit ensemble discret au terme de la segmentation initiale.

4. Dispositif de segmentation selon la revendication 3, caractérisé en ce que les paramètres "variance" sont donnés
35 par l'expression :

$$V_{q,j}^2 = \sum_{(s/\ell(s) = q)} (x_{s,j} - M2_{q,j})^2 / Nq$$

où $j = 1$ à C désigne l'indice du canal, $x_{s,j}$ ledit niveau de grandeur sur le canal j constaté en un site s déterminé, $\ell(s)$ le label attribué à ce site s , $M2_{q,j}$ les moyennes sur chaque canal j indépendamment, et Nq le nombre total de sites auxquels le label q est attribué.

5. Dispositif de segmentation selon la revendication 3, caractérisé en ce que les paramètres "variance" sont les éléments de la matrice des covariances sur les différents canaux, donnés par l'expression suivante :

$$V_{q,j1,j2} = \sum_{(s/\ell(s) = q)} (x_{s,j1} - M2_{q,j1})(x_{s,j2} - M2_{q,j2}) / Nq$$

où $j1, j2$ désignent les indices des deux canaux concernés, $x_{s,j}$ ledit niveau de grandeur sur le canal j constaté en un site s déterminé, $\ell(x)$ le label attribué à ce site s , $M2_{q,j}$ les moyennes sur chaque canal j considéré indépendamment, et Nq le nombre total de sites auxquels le label q est attribué.

6. Dispositif de segmentation selon l'une des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que la sortie du sous-ensemble de mise à jour de la segmentation unimodale est renvoyée vers son entrée pour réalisation d'une nouvelle classification, jusqu'à interruption de ce processus itératif selon un critère de convergence déterminé.

7. Dispositif de segmentation selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le sous-ensemble d'étiquetage comprend en série :

(1) une mémoire des probabilités conditionnelles délivrées par lesdites première et deuxième voies et de probabilités intermédiaires déterminées de façon interne audit sous-ensemble d'étiquetage ;

(2) un circuit de calcul de grandeurs égales ou proportionnelles aux probabilités marginales de chaque label pour chaque site, ledit calcul étant conduit selon les étapes suivantes, pour tous les q, a, b, c possibles :

(a) on définit $F_{m,n}(q)$ comme la probabilité

conditionnelle $p(q/X_{mn})$ d'avoir au site (m,n) un label q , la référence X_{mn} désignant l'ensemble des sites situés au-dessus et à gauche du site (m,n) ;

5 (b) pour chaque b , on examine la valeur $F = F_{m-1,n-1}(b)$ pour ne la prendre en compte que si elle est supérieure à un seuil déterminé ;

(c) on calcule alors l'expression :

$$H = Y_{m-1,n}(a,b) \cdot Z_{m,n-1}(c,b) \cdot p(q/a,b,c) \cdot p_q(x_{mn})/F$$

où : $Y_{m-1,n}(a,b) = p(a,b/X_{m-1,n})$

10 et : $Z_{m,n-1}(c,b) = p(c,b/X_{m,n-1})$

et l'on effectue une addition cumulée des valeurs de H , pour obtenir une grandeur J et une grandeur $L_{m-1,n-1}(b)$;

(d) on reprend les étapes (b) et (c) jusqu'à ce que tous les sites aient été traités de façon similaire, la
15 valeur cumulée de J étant ajoutée à $Y_{m,n}(q,c)$ et à $Z_{m,n}(q,a)$ puis remise à zéro, et la valeur cumulée de $L_{m-1,n-1}(b)$ constituant ladite grandeur égale ou proportionnelle à la probabilité marginale du label b au site $(m-1,n-1)$;

(e) on reprend les étapes (b) à (d) jusqu'à
20 ce que toutes les combinaisons (q,a,c) aient été traitées de façon similaire ;

(3) un circuit d'étiquetage des sites, par comparaison des valeurs de $L_{m-1,n-1}(b)$ et attribution à chaque site $(m-1,n-1)$ du label b correspondant à la valeur de
25 $L_{m-1,n-1}(b)$ la plus grande.

8. Dispositif de segmentation selon la revendication 7, caractérisé en ce que, dans le circuit de calcul de grandeurs égales ou proportionnelles aux probabilités marginales de chaque label pour chaque site, il est prévu dans
30 l'étape (c) une étape (c_2) supplémentaire de normalisation par division de toutes les valeurs de Y et de Z par une norme $N_{m,n}$ égale, pour tous les b , à $\sum_b L_{m-1,n-1}(b)$.

1/3

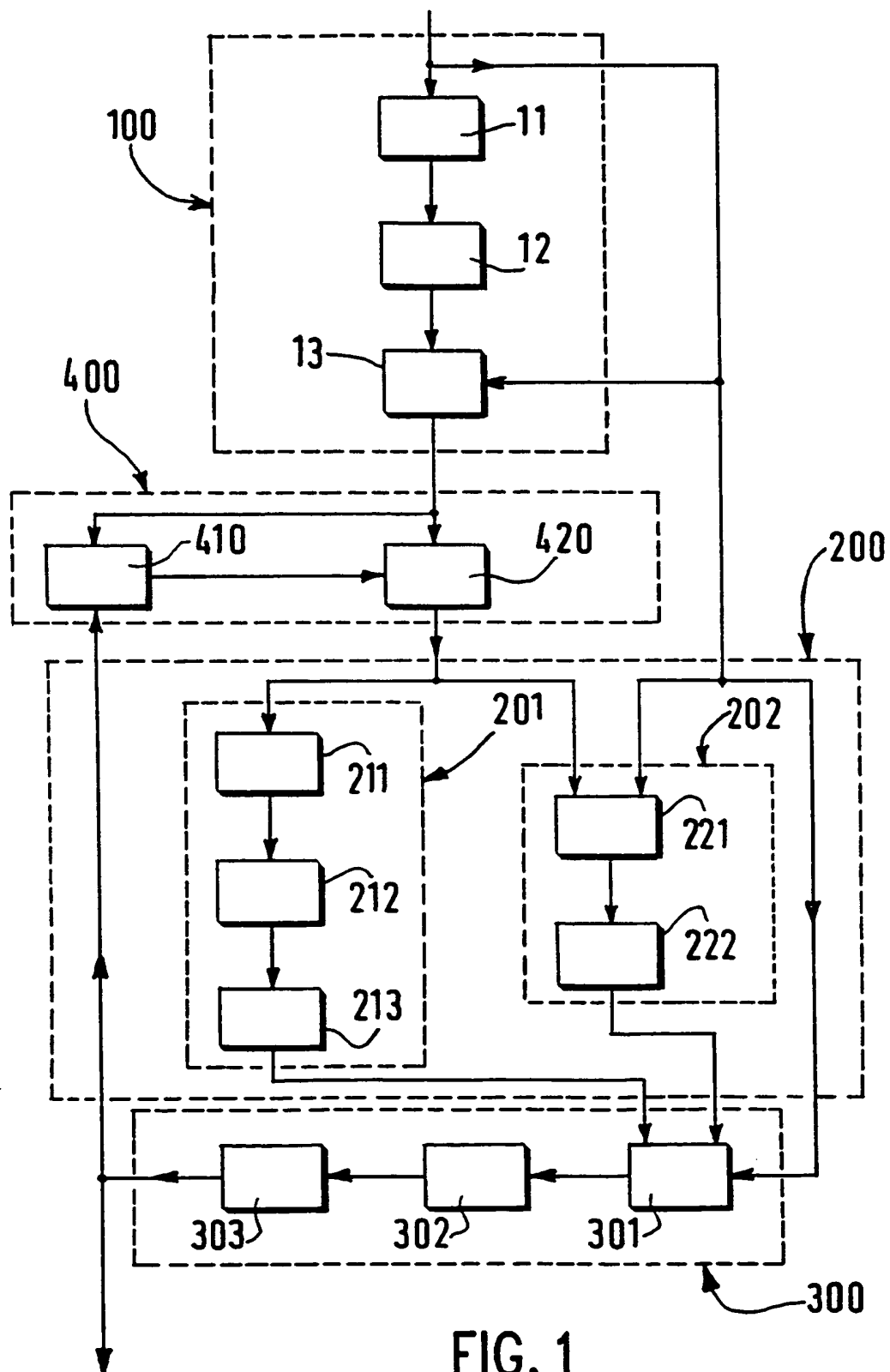


FIG. 1

2/3

b	a
c	q

FIG. 2
















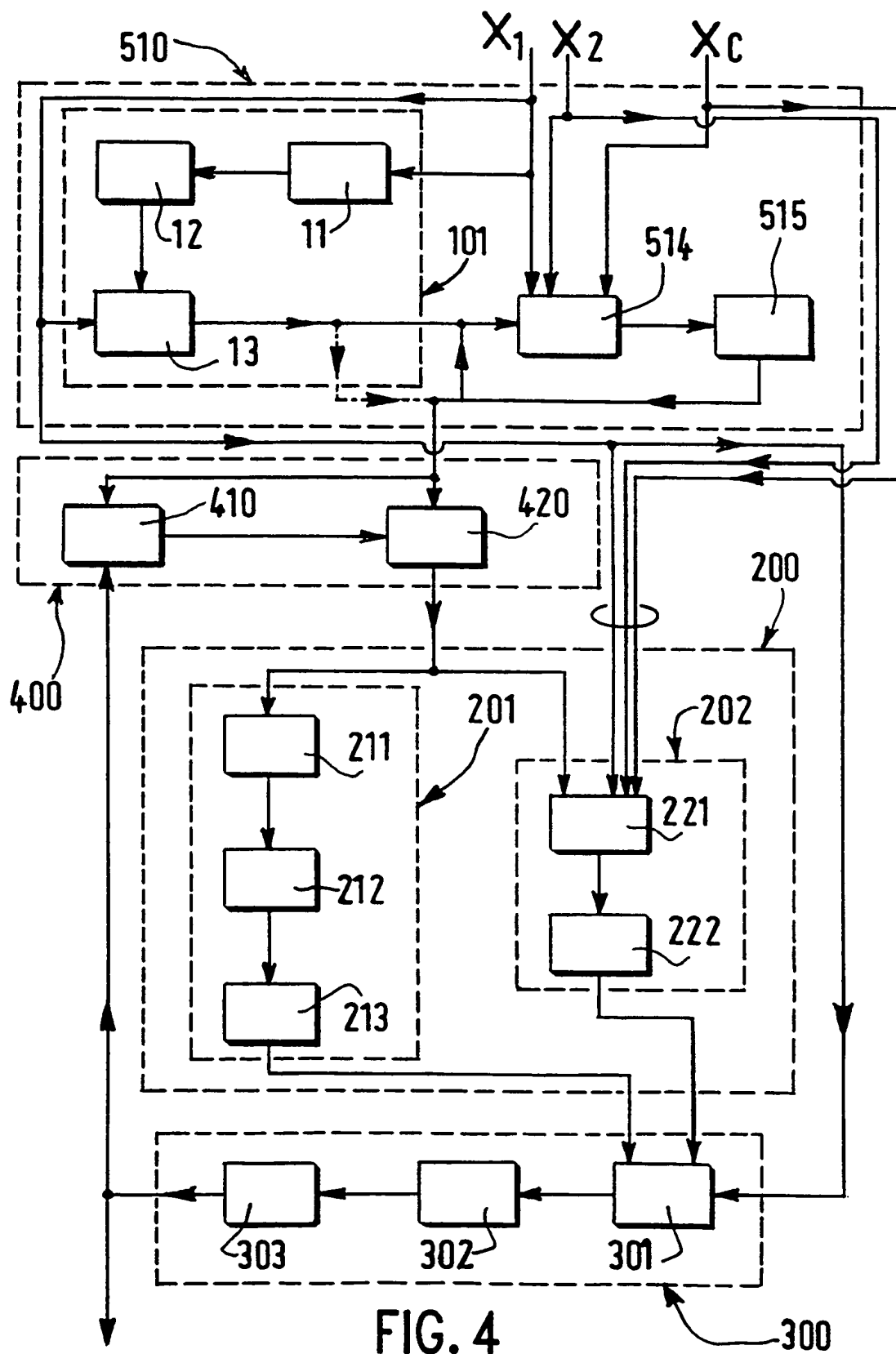
 S ₁₂₃₄	 S ₁₂₃₃	 S ₁₂₃₂	 S ₁₂₃₁	 S ₁₂₂₃
 S ₁₂₂₂	 S ₁₂₂₁	 S ₁₂₁₃	 S ₁₂₁₂	 S ₁₂₁₁
 S ₁₁₂₃	 S ₁₁₂₂	 S ₁₁₂₁	 S ₁₁₁₂	 S ₁₁₁₁

FIG. 3

3/3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/IB 95/00076

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G06T5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US,A,4 764 971 (SULLIVAN) 16 August 1988 see column 1, line 65 - column 2, line 28 see column 7, line 35 - column 8, line 26 ---	1-8
A	FOURTH CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SPACE APPLICATIONS (NASA CONF. PUBL. 3013), 15 November 1988, HUNTSVILLE, AL, USA pages 221 - 229 LODA A G & RANGANATH H S 'A Hardware Implementation of a Relaxation Algorithm to Segment Images' see abstract see paragraph II.1 --- -/--	1-3,6-8

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 March 1995

Date of mailing of the international search report

04.04.95

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Gonzalez Ordóñez, O

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

J Application No

PCT/IB 95/00076

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PROCEEDINGS OF THE 1979 IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON PATTERN RECOGNITION AND IMAGE PROCESSING, 6 August 1979, CHICAGO, IL, USA pages 515 - 522 NAGIN P ET AL. 'Segmentation, Evaluation and Natural Scenes.' see page 520, paragraph III.1 see page 520, paragraph III.2 ---	1,2,7
A	ICASSP 88, INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACCOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, vol.M-II, 11 April 1988, NEW YORK CITY, USA pages 882 - 885 P W FUNG ET AL. 'Automatic Segmentation of Biomedical Images.' see paragraph II see paragraph II ---	1,2,7
A	EUROGRAPHICS '91, EUROPEAN COMPUTER CONFERENCE AND EXHIBITION., 2 September 1991, VIENNA, AUSTRIA pages 399 - 412 M POPOVIC ET AL. 'Several Approaches to Implement the Merging Step of the Split and Merge Region Segmentation.' see paragraph 5 -----	1,2,7

Informant: patient family members

PC 95/00076

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Internationale No

PCT/IB 95/00076

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 G06T5/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 6 G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US,A,4 764 971 (SULLIVAN) 16 Août 1988 voir colonne 1, ligne 65 - colonne 2, ligne 28 voir colonne 7, ligne 35 - colonne 8, ligne 26	1-8
A	--- FOURTH CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SPACE APPLICATIONS (NASA CONF. PUBL. 3013), 15 Novembre 1988, HUNTSVILLE, AL, USA pages 221 - 229 LODA A G & RANGANATH H S 'A Hardware Implementation of a Relaxation Algorithm to Segment Images' voir abrégé voir alinéa II.1 --- -/--	1-3,6-8

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "I" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

16 Mars 1995

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

04.04.95

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Gonzalez Ordóñez, O

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dernière internationale No
PCT/IB 95/00076

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>PROCEEDINGS OF THE 1979 IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON PATTERN RECOGNITION AND IMAGE PROCESSING, 6 Août 1979, CHICAGO, IL, USA pages 515 - 522 NAGIN P ET AL. 'Segmentation, Evaluation and Natural Scenes.' voir page 520, alinéa III.1 voir page 520, alinéa III.2 ---</p>	1,2,7
A	<p>ICASSP 88, INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACCOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, vol.M-II, 11 Avril 1988, NEW YORK CITY, USA pages 882 - 885 P W FUNG ET AL. 'Automatic Segmentation of Biomedical Images.' voir alinéa II voir alinéa II ---</p>	1,2,7
A	<p>EUROGRAPHICS '91, EUROPEAN COMPUTER CONFERENCE AND EXHIBITION., 2 Septembre 1991, VIENNA, AUSTRIA pages 399 - 412 M POPOVIC ET AL. 'Several Approaches to Implement the Merging Step of the Split and Merge Region Segmentation.' voir alinéa 5 -----</p>	1,2,7

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE
Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Internationale No
PCT/IB 95/00076

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US-A-4764971	16-08-88	AUCUN	

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (juillet 1992)